

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 29 NOV 2004

WIPO PCT

DE 04/02012

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 103 52 080.5

Anmeldetag: 08. November 2003

Anmelder/Inhaber: ROBERT BOSCH GMBH,
70442 Stuttgart/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Bestimmung einer Rohform eines
elastischen Bauteils

IPC: G 01 N 3/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 27. Mai 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Wallner

BEST AVAILABLE COPY

30.10.03

5

ROBERT BOSCH GMBH; D-70442 Stuttgart

Verfahren zur Bestimmung einer Rohform eines elastischen Bauteils

Stand der Technik

- 15 Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur Bestimmung einer Rohform eines elastischen Bauteils nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

20 Zur Bestimmung einer Rohform eines elastischen, als Blattfeder mit konstantem Querschnitt ausgebildeten gelenkfreien Wischarms unter der Vorgabe einer Zielform, die das Bauteil unter der Einwirkung einer vorgegebenen deformierenden Kraft annehmen soll, ist ein Verfahren bekannt, bei dem eine Rohform durch eine Vorbiegung bestimmt ist, deren Verlauf demjenigen eines elastischen, einseitig eingespannten Biegebalkens entspricht und deren Stärke durch eine Auflagekraft bestimmt ist und mit Hilfe bekannter Formeln berechenbar ist (vgl. 25 Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau, 19. Auflage Springer-Verlag Berlin, Heidelberg 1997).

30

Vorteile der Erfindung

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur Bestimmung einer Rohform eines elastischen Bauteils, insbesondere eines gelenkfreien Wischarms, unter der Vorgabe einer Zielform, die das elastische Bauteil unter der Einwirkung zumindest einer vorgegebenen ersten Kraft annehmen soll.

Es wird vorgeschlagen, dass eine der vorgegebenen ersten Kraft zumindest im Wesentlichen entgegengesetzte Gegenkraft an ein Arbeitsmodell des elastischen Bauteils angesetzt wird, dessen Modellrohform der Zielform zumindest ähnlich ist. Dadurch kann die Rohform vorteilhaft zielgerichtet, unter Vermeidung mehrerer Versuche und ohne großen mathematischen Aufwand bestimmt werden. Es kann eine Rohform ermittelt werden, die sowohl ein Design der Zielform betreffende Vorgaben, als auch eine Funktion des elastischen Bauteils betreffende Vorgaben erfüllt. Bei einem gelenkfreien Wischarm kann vorteilhaft eine hinsichtlich einer Wischqualität und eines Wischkomforts optimierte Auflagekraft bei einer durch Aerodynamik und Design diktierten Zielform des Wischarms, die dieser in einem auf ein Kraftfahrzeug montierten Zustand annimmt, erreicht werden. Hinsichtlich aerodynamischer Eigenschaften des Wischarms ist insbesondere eine Gestaltung eines Zwischenraums zwischen dem Wischarm in seiner Zielform und einem an dem Wischarm montierten, auf einer Fahrzeugscheibe aufliegenden Wischblatt von entscheidender Bedeutung.

Unter einer Rohform soll eine Form des elastischen Bauteils verstanden werden, die dieses in einer im Wesentlichen kraftfreien Konfiguration annimmt. Unter einer Modellrohform soll

eine Form des Arbeitsmodells verstanden werden, die dieses unter dem Einfluss einer Rohkraft annimmt, die insbesondere in einem ersten Verfahrensschritt zumindest im Wesentlichen Null ist, in Zwischenschritten jedoch auch endliche Werte annehmen kann. Es ist denkbar, das Verfahren mit einem dem elastischen Bauteil geometrisch zumindest im Wesentlichen ähnlichen Arbeitsmodell auszuführen, sofern die relevanten Kräfte den gleichen Ähnlichkeits- und Skalentransformationen unterworfen werden, die eine Modellrohform des Arbeitsmodells in eine Zielform des elastischen Bauteils überführen. Ebenfalls denkbar ist eine Durchführung des Verfahrens mit einem von einem Material des elastischen Bauteils verschiedenen elastischen Material des Arbeitsmodells, sofern die relevanten Kräfte mit dem Verhältnis der entsprechenden Elastizitätsmoduln multipliziert werden. Nach dem Hookeschen Gesetz ist eine Deformation eines elastischen Materials unter der Einwirkung einer Kraft stets proportional zu dieser Kraft. Daraus ergeben sich vielfältige Möglichkeiten einer extrapolativen Bestimmung einer Form, die ein elastisches Bauteil unter der Einwirkung einer Kraft annimmt. Unter dem Ansetzen einer Kraft, insbesondere der Gegenkraft, sollen daher neben einer physikalischen Ausübung der Kraft auch teilweise oder vollständige mathematische Simulationen der Kraft und Verfahren, die Extrapolations- und/oder Skalierungsschritte beinhalten, verstanden werden.

In einer Ausgestaltung der Erfindung wird vorgeschlagen, dass im Verfahren die Gegenkraft in Zwischenschritten gesteigert wird. Durch die Möglichkeit, in Zwischenschritten Anpassungen vorzunehmen, kann eine verbesserte Kontrolle einer Deformati-

onsbewegung erreicht werden. Informationen über Zwischenformen können vorteilhaft erfasst werden.

Wird nach zumindest einem Zwischenschritt eine aktuelle Gegenkraft in ihrer Richtung zumindest teilweise abhängig von einer Deformation des Arbeitsmodells ausgerichtet, können nichtlineare Effekte weitgehend vermieden werden und es kann erreicht werden, dass der Deformationsprozess mit einem elastischen Bauteil, dessen Form auf diese Weise bestimmt wurde, in jedem Zwischenschritt im Wesentlichen umkehrbar ist.

Für eine Ausgestaltung des Verfahrens, in dem das Arbeitsmodell reell deformiert wird, wird vorgeschlagen, dass das Arbeitsmodell in der Rohform durch Erhitzen und Abkühlen fixiert wird. Dabei ist ein Erhitzen des Arbeitsmodells in der Rohform bis in einen Temperaturbereich knapp unterhalb eines Schmelzpunktes eines Materials des Arbeitsmodells zum Lösen innerer Materialspannungen des Arbeitsmodells sinnvoll. Besonders vorteilhaft ist diese Ausgestaltung des Verfahrens zur Herstellung von Prototypen einsetzbar.

Zudem wird vorgeschlagen, dass eine Deformation des Arbeitsmodells unter der Gegenkraft simuliert wird. Materialien und Formen können einfach und kostengünstig durch eine Änderung von Parametern eines Simulationsprogramms variiert werden und es kann auf erprobte numerische Verfahren zurückgegriffen werden. Besonders vorteilhaft lässt sich in der numerischen Simulation eine Finite-Elemente-Methode einsetzen. Dabei ist sowohl eine lineare als auch eine nichtlineare Finite-Elemente-Methode denkbar. Dabei wird die Form eines elastischen Bauteils durch einfache dreidimensionale Bausteine ap-

proximiert, deren Deformation unter dem Einfluss einfacher Kraftfelder an ihren Grenzflächen analytisch berechenbar ist. Eine Übersicht über Finite-Elemente-Methoden gibt das Lehrbuch „Finite-Elemente-Methoden“ von Klaus-Jürgen Bathe, erschienen im Springer-Verlag Berlin-Heidelberg im Dezember 2001.

Nutzt die Finite-Elemente-Methode eine Unterteilung in Finite Elemente, in der zumindest eine Mehrzahl der Finiten Elemente höchstens zwei Trennflächen mit benachbarten Finiten Elementen teilt, kann vorteilhaft ein numerischer Aufwand reduziert werden. Ein besonders einfaches sequentielles Abarbeiten der Deformation einzelner Elemente wird vorteilhaft ermöglicht. Besonders in einer linearen Näherung für die Gleichungen der Deformation der Elemente kann das Problem der Berechnung der Rohform vorteilhaft auf das Diagonalisieren einer Bandmatrix reduziert werden und es kann auf schnelle numerische Methoden zurückgegriffen werden. Insbesondere bei länglichen Bauteilen, wie zum Beispiel gelenkfreien Wischarmen, kann so eine hohe Präzision bei einer geringen Anzahl von Elementen und Berechnungsschritten erreicht werden.

Zeichnung

Weitere Vorteile ergeben sich aus der folgenden Zeichnungsbeschreibung. In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel der Erfindung dargestellt. Die Zeichnung, die Beschreibung und die Ansprüche enthalten zahlreiche Merkmale in Kombination. Der Fachmann wird die Merkmale zweckmäßigerweise auch einzeln

betrachten und zu sinnvollen weiteren Kombinationen zusammenfassen.

Es zeigen:

5

Fig. 1 ein Flussdiagramm zu einem Verfahren zur Bestimmung einer Rohform eines gelenkfreien Wischarms,

Fig. 2 ein Arbeitsmodell eines Wischarms in einer Draufsicht,

Fig. 3 das Arbeitsmodell aus Fig. 2 in einer Modellrohform und mit einer angesetzten Gegenkraft,

Fig. 4 einen gelenkfreien Wischarm in einer Rohform und unter der Einwirkung einer Auflagekraft,

15

Fig. 5 eine schematische Darstellung zu einer Testphase des Verfahrens,

Fig. 6 eine schematische Darstellung zu einer Aufteilung des Arbeitsmodells in Finite Elemente,

20

Fig. 7 eine schematische Darstellung zu einer Deformation eines Finiten Elements unter der Wirkung einer Längskraft,

Fig. 8 eine schematische Darstellung zu einer Deformation eines Finiten Elements unter der Wirkung einer Querkraft,

25

Fig. 9 eine schematische Darstellung zu einer Deformation eines Finiten Elements unter der Wirkung eines Biegemoments und

30

Fig. 10 eine schematische Darstellung zu einer Berechnung einer gesamten Deformation eines Finiten Elements des Arbeitsmodells aus Fig. 1 bis 9.

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

Figur 1 zeigt ein Flussdiagramm zu einem Verfahren zur Bestimmung einer Rohform eines als gelenkfreier Wischarm 10 ausgebildeten elastischen Bauteils unter der Vorgabe einer Zielform, die der gelenkfreie Wischarm 10 unter der Einwirkung einer vorgegebenen ersten Kraft F_1 , die eine Gegenkraft zu einer Auflagekraft des Wischarms 10 auf einer Kraftfahrzeugscheibe darstellt, annehmen soll (Fig. 4). In einem Definitionsschritt 18 werden Parameter der gewünschten Zielform in einen Speicher einer Recheneinheit eingespeist, welche mit Hilfe einer Finite-Elemente-Methode eine Deformation eines simulierten Arbeitsmodells 12 des gelenkfreien Wischarms 10 bei einer der angesetzten ersten Kraft F_1 entgegengesetzten Gegenkraft F_G simuliert (Fig. 3). Eine Modellrohform, die das Arbeitsmodell 12 in einer kraftfreien Konfiguration annimmt, ist als durchgezogene Linie in Fig. 3 dargestellt und ist identisch mit der Zielform des gelenkfreien Wischarms 10, die als gepunktete Linie in Fig. 4 dargestellt ist. Zur Simulation der Deformation werden Randbedingungen derart gewählt, dass eine Befestigungsebene 14' des Arbeitsmodells 12 fixiert bleibt. Die Befestigungsebene 14' entspricht einer Befestigungsebene 14 des Wischarms, die in einem Bereich des Wischarms 10 liegt, in welchem letzterer eine Öffnung 16 zum Durchführen und Verschrauben einer Antriebswelle aufweist. In einer Deformationsphase 20 wird die Gegenkraft F_G in mehreren Zwischenschritten bis zu ihrem Endwert gesteigert, wobei in jedem Zwischenschritt eine aktuelle Gegenkraft F_G abhängig von der Deformation des Arbeitsmodells 12 senkrecht zu einer Oberfläche desselben ausgerichtet wird. Die Parameter der Form, die das Arbeitsmodell 12 unter der Einwirkung der Ge-

genkraft F_G bei ihrem Endwert annimmt, werden in einem Ausleseschritt 22 ausgelesen und stellen die gewünschte Information über die Rohform des gelenkfreien Wischarms 10 dar.

5 Diese Informationen können nun in einem Testschritt 24 zur Simulation von Elastizitätseigenschaften eines Wischarms 10 mit der berechneten Rohform genutzt werden. Dazu wird die Einwirkung einer Testkraft F_T auf den Wischarm 10 mit der in den ersten Verfahrensschritten 18, 20, 22 ermittelten Rohform simuliert (Fig. 5). Wird die Testkraft F_T graduell von Null auf den Wert der ersten Kraft F_1 gesteigert, wobei die Testkraft F_T in jedem Zwischenschritt senkrecht zur Oberfläche des Wischarms 10 ausgerichtet wird, deformiert sich der Wischarm 10 von der Rohform in die Zielform. Zur Ermittlung
15 der Auflagekraftvariationen während einer Hubbewegung 26 wird die Testkraft F_T leicht um die erste Kraft F_1 variiert und eine Auslenkung als Funktion der Testkraft F_T , also eine invertierte Federkennlinie des Wischarms 10, wird aufgenommen (Fig. 6). Vorteilhaft ist eine flache Federkennlinie im Bereich der Auflagekraft, weil die Hubbewegungen 26 in diesem
20 Fall nur kleine Variationen der Auflagekraft erzeugen und damit nur einen unwesentlichen Einfluss auf eine Wischqualität haben.

25 Fig. 10 zeigt eine schematische Darstellung zu einer Simulation der Deformation eines Finiten Elements E_1 des Arbeitsmodells 12. Der Simulationsalgorithmus geht von einer festen Einspannung an der Befestigungsebene 14' des Arbeitsmodells 12 aus. Dort sind eine Durchbiegung und eine Winkeländerung
30 stets Null. Das Arbeitsmodell 12 wird entlang seiner Längserstreckung in Finite Elemente $E_1 - E_N$ aufgeteilt, deren Ver-

formungen einzeln berechnet und aufaddiert werden (Fig. 6). Jedes der Finiten Elemente $E_2 - E_{N-1}$ teilt zwei Trennflächen mit benachbarten Finiten Elementen $E_1 - E_N$, während die an einem Rand gelegenen Finiten Elemente E_1 und E_N nur jeweils ein benachbartes Finites Element aufweisen. In Bereichen mit starker Querschnitts- oder Belastungsänderung werden feinere Unterteilungen gewählt als in solchen mit annähernd gleichem Querschnitt und gleicher Belastung. Die Zielform des Wilscharms 10 wird durch die Modellrohform des Arbeitsmodells 12 als Stufenform angenähert, indem man in der Modellierung annimmt, dass die Finiten Elemente E_i über ihre Länge l_i gleichbleibende Querschnitte aufweisen.

Die Lage jedes Finiten Elements $E_1 - E_N$ wird in einem Schwerpunkt $v_1 - v_N$ mit Schwerpunktskoordinaten $x_1 - x_N$, $y_1 - y_N$ und in einem Winkel $\phi_1 - \phi_N$ gespeichert. An den Grenzflächen wirkt auf jedes Finite Element E_i eine Längskraft F_{li} (Fig. 7), eine Querkraft F_{qi} (Fig. 8) und ein Biegemoment M_i (Fig. 9). Das Biegemoment M_i berechnet sich als Drehmoment gemäß $M_i = \sum_j F_j * s_{ij}$ aus den Kräften $F_j = F_{lj} + F_{qj}$ auf alle Finiten Elemente E_j , $j=1 \dots N$ und aus den Abstandsvektoren $s_{ij} = v_i - v_j$ zwischen den Finiten Elementen i und j . Mit „*“ wird hier das Vektorprodukt bezeichnet. Ausgehend vom Finiten Element E_1 an der Befestigungsebene 14' werden die Schwerpunkte v_i und die Winkel ϕ_i für $i = 2 \dots N$ induktiv berechnet. Ausgehend von einer Verschiebung δx_{i-1} , δy_{i-1} wird in einem ersten Schritt der Schwerpunkt v_i des Finiten Elements E_i um denselben Verschiebungsvektor verschoben und geht in einen Schwerpunkt v_i' über (Fig. 10). Anschließend wird der Schwerpunkt v_i' um eine Winkeländerung $\delta \phi_{i-1}$ um einen Schwerpunkt v_{i-1} eines benachbarten Finiten Elements E_{i-1} gedreht und geht in einen Schwer-

punkt v_i'' über. Die Verformung des Finiten Elements E_i mit konstantem Querschnitt unter der Wirkung einer Querkraft F_{qi} , einer Längskraft F_{li} und eines äußeren Moments M_i hängt von der Länge l_i des Finiten Elements E_i , von einem Flächenmoment I_i der Querschnittsfläche A_i des Finiten Elements E_i und von einem materialabhängigen Elastizitätsmodul E ab. Speziell ergibt sich

$$\delta\phi_i = F_{qi} l_i^2 / (2 I_i E) + M_i l_i / (I_i E)$$

$$\delta y_i' = F_{qi} l_i^3 / (3 I_i E) + M_i l_i^2 / (2 I_i E)$$

$$\delta x_i' = F_{li} l_i / (A_i E).$$

Dabei beziehen sich die Verschiebungen $\delta x_i'$ und $\delta y_i'$ auf ein Koordinatensystem, dessen Abszisse tangential zum Verlauf einer Biegekurve des Arbeitsmodells 12 am Ort v_i verläuft. Daraus ergeben sich ein neuer Winkel $\phi_i = \phi_{i-1} + \delta\phi_i$ und ein neuer Schwerpunkt v_i''' mit den Koordinaten

$$x_i''' = x_i'' + \cos(\phi_i) \delta x_i' + \sin(\phi_i) \delta y_i'$$

und

$$y_i''' = y_i'' + \cos(\phi_i) \delta y_i' - \sin(\phi_i) \delta x_i'.$$

Zum Schließen des Induktionsschrittes fließen die Winkeländerung $\delta\phi_i$ und die elastischen Verschiebungen $\delta x_i = x_i''' - x_i$ und $\delta y_i = y_i''' - y_i$ in die Berechnung der Koordinaten und des Winkels zum nächsten Finiten Element E_{i+1} ein.

Ist die Deformation aller N Finiten Elemente $E_1 - E_N$ abgeschlossen, werden die Winkel $\phi_1 - \phi_N$ und die Schwerpunkte $v_1''' - v_N'''$ als Informationen für die Rohform des Wischarms (10) gespeichert.

5

In der Testphase 24 wird analog zu dem oben beschriebenen Finite-Elemente-Verfahren ein Wischarm 10 simuliert, der in einer kraftfreien Konfiguration durch die Finiten Elemente mit den Schwerpunkten $v_1''' - v_N'''$ und den Winkeln $\phi_1 - \phi_N$ beschrieben ist.

30.10.03.

ROBERT BOSCH GMBH; 70442 Stuttgart

5 Bezugszeichen

| | | | |
|----------|--------------------|-----------------|------------------------------|
| 10 | Wischarm | M_i | Biegemoment auf E_i |
| 12 | Arbeitsmodell | F_{qi} | Querkraft auf E_i |
| 14 | Befestigungsebene | F_{li} | Längskraft auf E_i |
| 16 | Öffnung | l_i | Länge von E_i |
| 18 | Definitionsschritt | A_i | Querschnittsfläche von E_i |
| 20 | Deformationsphase | v_i | Schwerpunkt von E_i |
| 22 | Ausleseschritt | x_i | Koordinate |
| 24 | Testschritt | y_i | Koordinate |
| 26 | Hubbewegung | δx_i | Änderung der Koordinate |
| E_i | Element Nr. i | δy_i | Änderung der Koordinate |
| s_{ij} | Abstandsvektor | ϕ_i | Winkel |
| F_1 | Kraft | $\delta \phi_i$ | Änderung des Winkels |
| F_G | Gegenkraft | | |
| F_T | Testkraft | | |

30.10.03

ROBERT BOSCH GMBH; D-70442 Stuttgart

5

Ansprüche

- 10 1. Verfahren zur Bestimmung einer Rohform eines elastischen Bauteils, insbesondere eines gelenkfreien Wischarms (10), unter der Vorgabe einer Zielform, die das elastische Bauteil unter der Einwirkung zumindest einer vorgegebenen ersten Kraft (F_1) annehmen soll, **dadurch gekennzeichnet**,
15 **dass** eine der vorgegebenen ersten Kraft (F_1) zumindest im Wesentlichen entgegengesetzte Gegenkraft (F_G) an ein Arbeitsmodell (12) des elastischen Bauteils angesetzt wird, dessen Modellrohform der Zielform zumindest ähnlich ist.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gegenkraft (F_G) in Zwischenschritten gesteigert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach zumindest einem Zwischenschritt eine aktuelle Gegenkraft (F_G) in ihrer Richtung zumindest teilweise abhängig
25 von einer Deformation des Arbeitsmodells (12) ausgerichtet wird.

30

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Deformation des Arbeitsmodells (12) unter der Gegenkraft (F_G) simuliert wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der Simulation eine Finite-Elemente-Methode eingesetzt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **gekennzeichnet durch** eine Unterteilung in Finite Elemente, in der zumindest eine Mehrzahl der Finiten Elemente höchstens zwei Trennflächen mit benachbarten Finiten Elementen teilt.
7. Gelenkfreier Wischarm (10), **gekennzeichnet durch** eine durch ein Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche bestimmte Rohform.

30.10.03

ROBERT BOSCH GMBH; D-70442 Stuttgart

5

Verfahren zur Bestimmung einer Rohform eines elastischen Bauteils

10

Zusammenfassung

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur Bestimmung einer Rohform eines elastischen Bauteils, insbesondere eines gelenkfreien Wischarms (10), unter der Vorgabe einer Ziel-
form, die das elastische Bauteil unter der Einwirkung zumindest einer vorgegebenen ersten Kraft (F_1) annehmen soll.

Es wird vorgeschlagen, dass eine der vorgegebenen ersten Kraft (F_1) zumindest im Wesentlichen entgegengesetzte Gegenkraft (F_G) an ein Arbeitsmodell (12) des elastischen Bauteils angesetzt wird, dessen Modellrohform der Zielform zumindest ähnlich ist.

25

(Fig. 1)

30

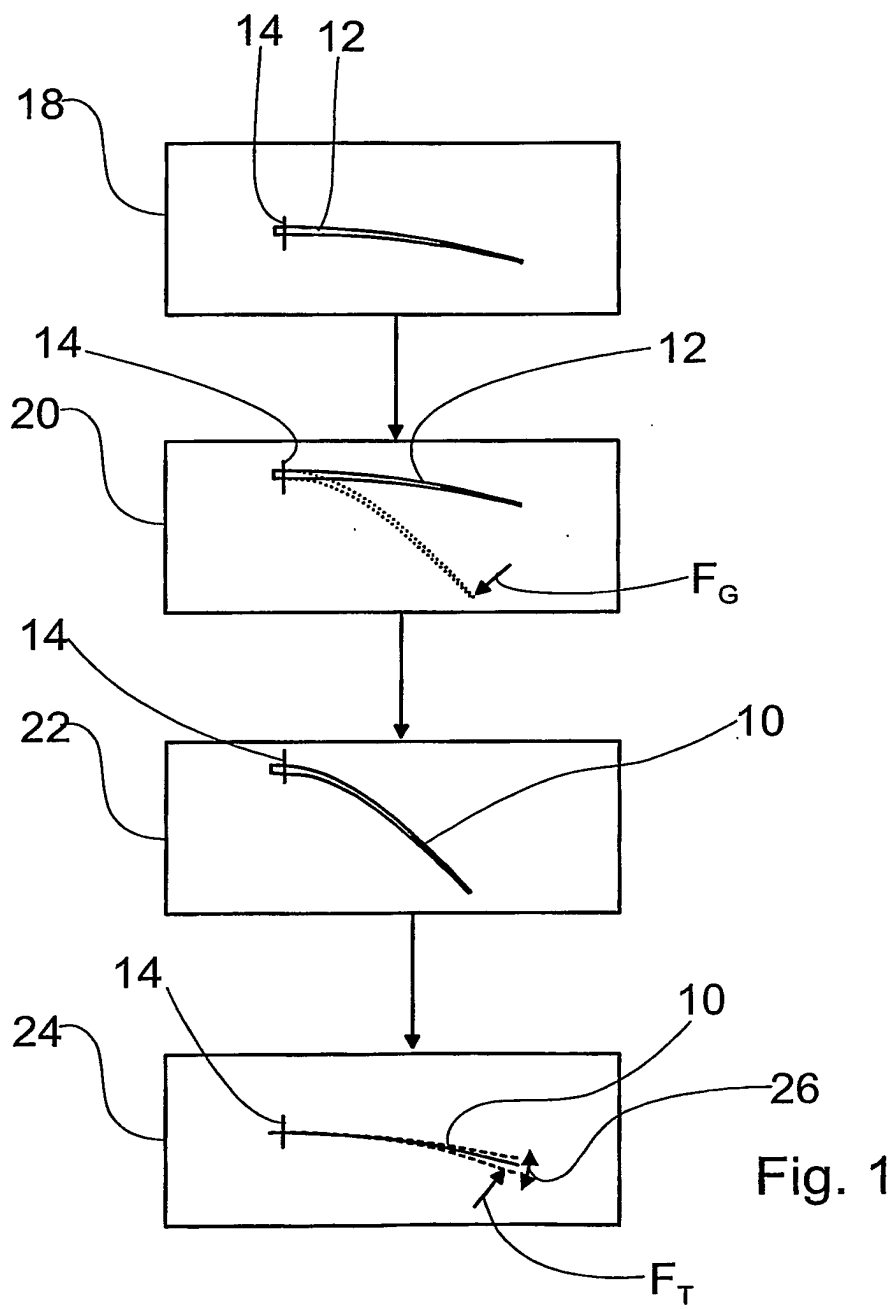


Fig. 1

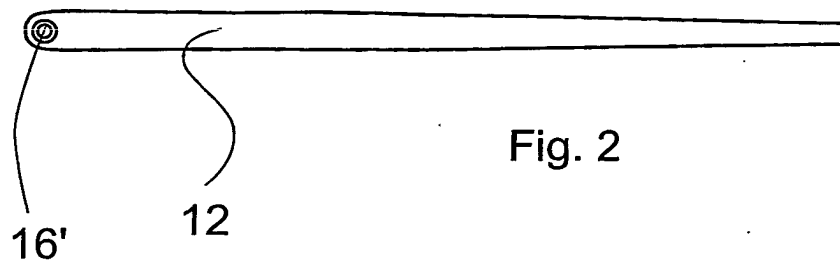


Fig. 2

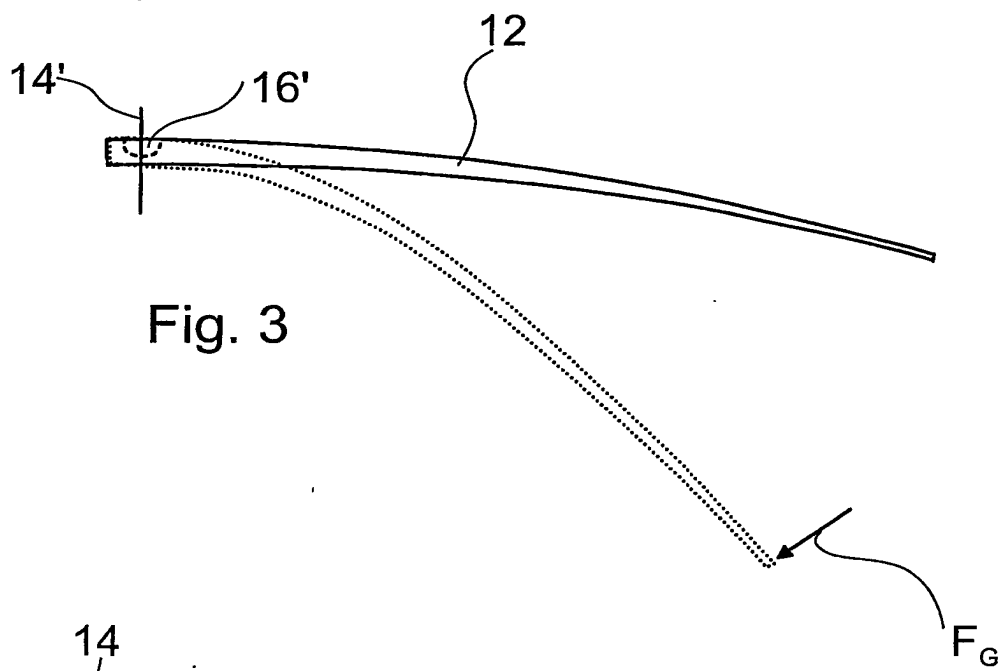


Fig. 3

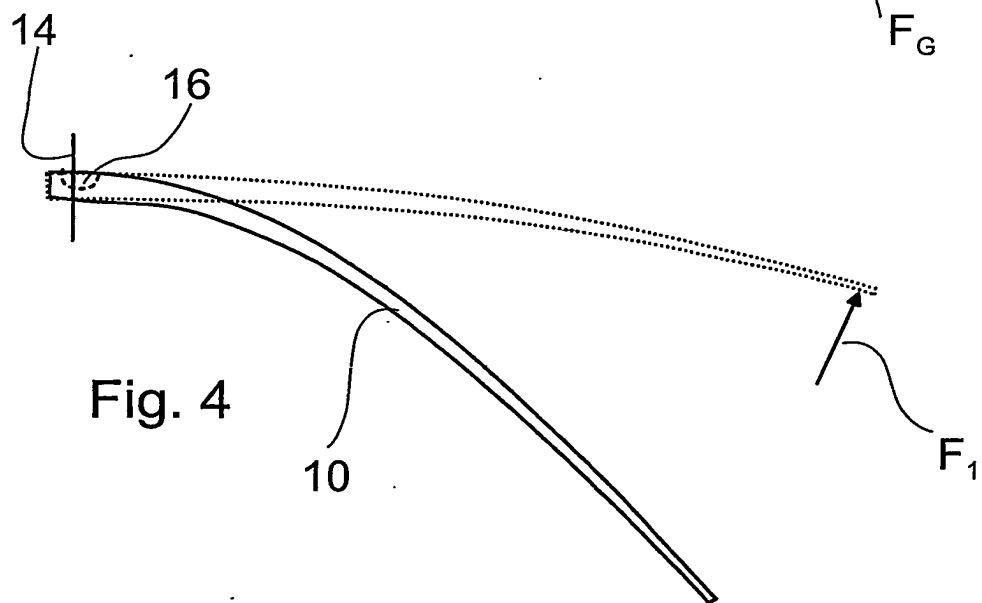


Fig. 4

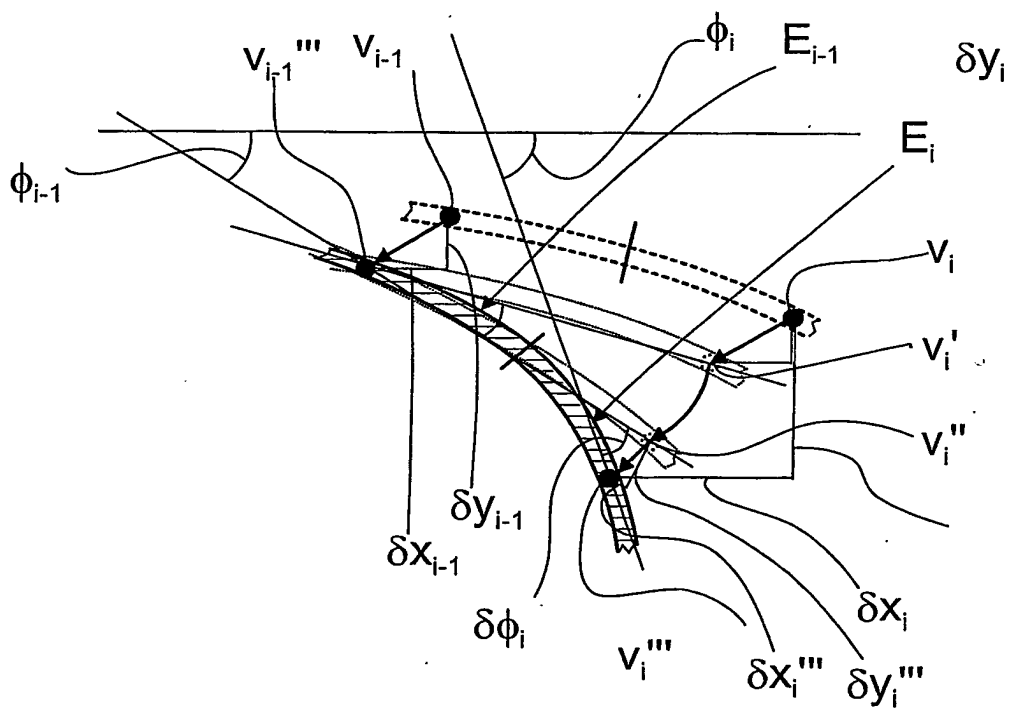


Fig. 10

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.